

## PORÓWNANIE DANYCH UZYSKANYCH Z RADIOSONDAŻY Z DANymi WYZNACZONYMI NA PODSTAWIE REANALIZY NCEP-NCAR

*Sławomir Szot, Marek Kosowski*

### **A comparison of the radiosonde data and the data set basing on the NCEP-NCAR reanalysis**

*Abstract:* The purpose of this study is to determine the usefulness of the NCEP-NCAR reanalysis for studying the geopotential height of isobaric levels, air temperature, wind speed and wind direction in the troposphere over the Central Europe. The study compares the values of selected meteorological elements obtained from the NCEP-NCAR data with the values measured at the aerological stations in Łeba, Legionowo, Lindenberg and Poprad. The results regarding geopotential height of isobaric levels reveal a very strong correlation between the NCEP-NCAR and radiosonde data at all the pressure levels studied. However, the analysis of the mean error and RMSE indicates less concordance, especially in the UTLS. The seasonal variability is very small and is noticeable only in Łeba, where the mean error and RMSE both increase in winter. The analysis carried out for the air temperature indicates a high concordance, especially up to 300 hPa. Above, a decrease in correlation is observed, as well as an increase in the values of both errors. It is most evident in summer and autumn. The comparison carried out for the wind speed shows that the correlation coefficients reach the highest values in the UTLS and decrease with decreasing altitude. High values of RMSE are noted at the level of 300 hPa. The values of the mean error and RMSE accompanying wind direction are the lowest in the UTLS and middle troposphere and increase at the 850 hPa pressure level. The differences between the frequencies of wind directions, calculated on the basis of the two datasets are very small (0–4%). It does not apply to the level of 850 hPa in Poprad, where substantial discrepancies are found. The results regarding wind parameters show very little seasonal variability. It is concluded that the NCEP-NCAR reanalysis is a valuable source that can be used to supplement or even replace radiosonde data. This applies to the entire troposphere, except for its lower layers over mountain areas, where reanalysis data should be verified every single time.

*Keywords:* NCEP-NCAR reanalysis, aerological sounding, geopotential height of isobaric levels, air temperature, wind, Central Europe

*Zarys treści:* Celem pracy jest określenie przydatności danych pochodzących z reanalizy NCEP-NCAR (*National Centers for Environmental Prediction, National Center for Atmospheric Research*) do badania wysokości geopotencjalnej powierzchni izobarycznych, temperatury powietrza oraz parametrów wiatru w troposferze nad Europą Środkową. W artykule porównano wartości wybranych elementów meteorologicznych, wyznaczonych na podstawie danych NCEP-NCAR, z wartościami zmierzonymi na stacjach aerologicznych w Łebie, Legionowie, Lindenbergu i Popradzie. Stwierdzono, że dane gridowe wykazują dużą zgodność z danymi radiosondażowymi. Jest to szczególnie wyraźne w dolnej i środkowej troposferze, biorąc pod uwagę wysokość geopotencjalną powierzchni izobarycznych i temperaturę powietrza. Trochę mniejsza zgodność występuje w górnej troposferze i dolnej stratosferze, zwłaszcza latem i jesienią. W przypadku parametrów wiatru zgodność między badanymi seriami danych jest duża na wszystkich badanych poziomach ciśnienia. Wyjątek stanowi Poprad, gdzie szczególnie latem istotne niezgodności stwierdzono na poziomie 850 hPa. Otrzymane wyniki pozwalają uznać, że reanaliza NCEP-NCAR stanowi cenny zbiór mogący służyć do badania procesów atmosferycznych w całej troposferze z wyjątkiem dolnych jej warstw nad obszarami górkimi.

*Słowa kluczowe:* reanaliza NCEP-NCAR, sondaż aerologiczny, wysokość geopotencjalna powierzchni izobarycznych, temperatura powietrza, wiatr, Europa Środkowa

## Wprowadzenie

Dane ze swobodnej atmosfery stanowią obecnie jeden z fundamentów opracowywania prognoz pogody. Są również coraz częściej wykorzystywane w klimatologii do analiz poszczególnych elementów meteorologicznych. Podstawowym źródłem danych ze swobodnej atmosfery są bezpośrednie pomiary dokonywane podczas sondaży aerologicznych za pomocą radiosond. Wyniki takich pomiarów są bez wątpienia cennym źródłem informacji codziennej służby synoptycznej. Z klimatologicznego punktu widzenia możliwość ich wykorzystania jest jednakże ograniczona. Wieloletnie serie danych radiosondażowych zawierają bowiem liczne braki, niekiedy nawet kilkuletnie. Poza tym stacje aerologiczne rozmieszczone są nierównomiernie, co utrudnia analizę przestrzenną zwłaszcza w obszarach, gdzie zagęszczenie tych stacji jest niewielkie. Innym źródłem danych z atmosfery swobodnej są reanalizy meteorologiczne powstające w wyniku integracji różnorodnych danych pomiarowych (m.in. radiosondażowych), z wykorzystaniem modeli. Dane z reanaliz nie zawierają luk czasowych. Dodatkowo, dzięki zastosowaniu metod interpolacyjnych, są określone dla rozmieszczonych równomiernie węzłów siatki geograficznej (tzw. gridów). Obecnie dostępnych jest kilka niezależnych baz danych gridowych. Spośród nich reanaliza NCEP-NCAR (Kalnay i in. 1996) jest

wykorzystywana najczęściej, m.in. ze względu na długą serię danych, bieżące aktualizacje oraz łatwy dostęp.

Powstaje więc pytanie, czy serie danych radiosondażowych można uzupełniać albo wręcz zastępować danymi z reanaliz (Gaffen i in. 2000; Woyciechowska, Bąkowski 2006). Biorąc pod uwagę niepewności towarzyszące danym gridowym (wynikające z zastosowania modeli oraz integracji różnorodnych danych wejściowych), odpowiedź na to pytanie wymaga uprzedniej oceny jakości tych danych (Hodges i in. 2011) oraz ich wiarygodności w badaniu pogody i klimatu (Bao, Zhang 2013). Wydaje się, że najprostszą metodą oceny danych z reanaliz jest ich porównanie z danymi pomiarowymi. Jak dotąd powstało wiele opracowań, w których dokonano takich porównań, głównie z danymi z pomiarów meteorologicznych przy powierzchni Ziemi. Wyniki reanaliz porównywano również z danymi pochodzącymi z pomiarów w atmosferze swobodnej (np. Marshall 2002; Woyciechowska, Bąkowski 2006; Bao, Zhang 2013). Badania tego rodzaju, prowadzone na obszarach o różnych uwarunkowaniach regionalnych, mogą jednak dawać odmienne wyniki. Wiąże się to z występowaniem lokalnych procesów atmosferycznych, których rozpoznanie przez modele reanaliz nie wszędzie jest właściwe (Schafer i in. 2003). Wyniki takich badań nie są więc reprezentatywne dla obszaru całej Ziemi, zróżnicowanego przecież pod względem ukształtowania terenu czy gęstości sieci pomiarowej. Kontynuowanie badań porównujących wyniki reanaliz do danych *in situ* wydaje się zatem niezbędne.

## Materiały źródłowe i metoda opracowania

Celem niniejszego opracowania jest określenie przydatności danych pochodzących z reanalizy NCEP-NCAR do badania wysokości geopotencjalnej powierzchni izobarycznych, temperatury powietrza oraz kierunku i prędkości wiatru w troposferze nad Europą Środkową. Cel pracy zrealizowano, porównując wartości wybranych elementów meteorologicznych, wyznaczonych na podstawie danych NCEP-NCAR, z wartościami zmierzonymi na stacjach aerologicznych w Łebie (nr WMO: 12120), Legionowie (12374), Lindenbergu (10393) i Popradzie (11952). W pracy wykorzystano dane z godzin 00 i 12 UTC z lat 2001–2010, dotyczące sześciu poziomów izobarycznych: 850, 700, 500, 300, 250 i 200 hPa. Analizę porównawczą przeprowadzono zarówno w odniesieniu do roku, jak i do pór roku. W przypadku parametrów wiatru, ze względu na niewielkie zróżnicowanie sezonowe badanej zgodności, w formie rycin przedstawiono wyłącznie wyniki odnoszące się do roku, a istniejące różnice opisano w tekście.

Dane aerologiczne otrzymano dzięki uprzejmości *Department of Atmospheric Science, University of Wyoming*. Niestety zawierają one pewne braki, co wynika m.in. ze specyfiki pomiarów radiosondażowych. Kompletność danych aerologicznych użytych

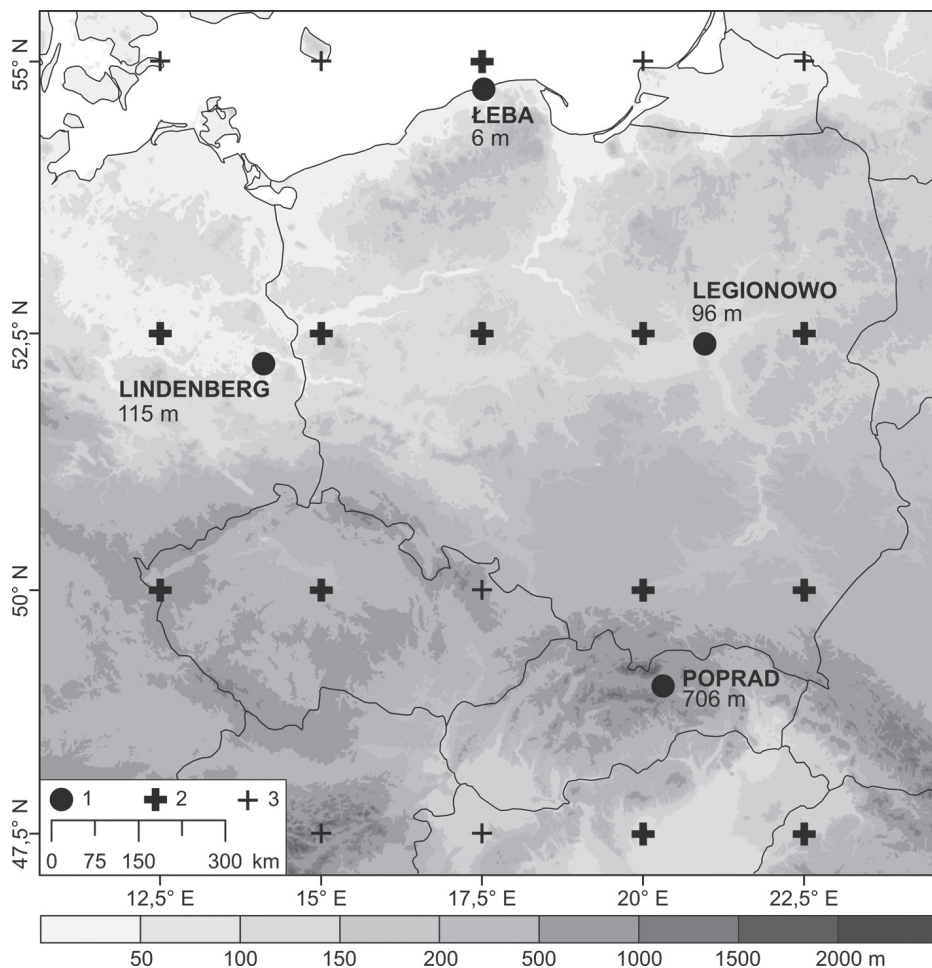
w tym artykule wynosi od 87% w Łebie do 97% na pozostałych stacjach. Dane z reanalizy NCEP-NCAR pobrano bezpośrednio ze strony internetowej NOAA/OAR/ESRL PSD (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/> – 16.04.2013). Dane te dostępne są dla węzłów siatki geograficznej rozmieszczonych co 2,5° szerokości i długości geograficznej. Aby umożliwić bezpośrednie porównywanie, wartości z reanalizy interpolowano do dokładnego położenia stacji aerologicznych metodą interpolacji dwuliniowej z czterech najbliższych punktów węzłowych (z dwóch w przypadku Łeby). Położenie stacji aerologicznych rozpatrywanych tutaj wraz z rozmieszczeniem punktów gridowych użytych do interpolacji przedstawiono na rycinie 1.

Porównania danych NCEP-NCAR z danymi radiosondażowymi dokonano za pomocą analizy współczynników korelacji liniowej Pearsona, średniego błędu oraz powszechnie stosowanego w geostatystyce pierwiastka ze średniego błędu kwadratowego RMSE (ang. *Root Mean Square Error*). W przypadku obliczeń dotyczących kierunku wiatru pominięto terminy, w których prędkość wiatru była mniejsza niż  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Oprócz tego, ze względu na wektorowy charakter tej zmiennej, nie było możliwe obliczenie współczynników korelacji liniowej Pearsona. W zamian analizie poddano różnice między częstościami kierunków wiatru, obliczonymi na podstawie obu serii danych. Należy podkreślić, że prezentowane wartości współczynników korelacji przyjęto jako istotne statystycznie na poziomie  $p < 0,05$ . Podczas obliczania błędu średniego wartości z danych pomiarowych odejmowano od wartości wyznaczonych z reanalizy NCEP-NCAR. Dodatnie (ujemne) wartości średniego błędu wskazują zatem na zawyżone (zaniżone) wartości reanalizy.

Opracowanie stanowi kontynuację prowadzonych wcześniej badań, których wstępne wyniki zostały już opublikowane przez autorów (Szot, Kosowski 2013).

## Wyniki

Porównanie wysokości geopotencjalnej powierzchni izobarycznych ujawnia bardzo silną korelację między danymi z reanalizy i danymi radiosondażowymi na wszystkich badanych poziomach ciśnienia (ryc. 2). Analiza średniego błędu i RMSE wskazuje jednak na mniejszą zgodność, zróżnicowaną ponadto w zależności od poziomu izobarycznego. Średni błąd przyjmuje najmniejsze wartości w dolnej i środkowej troposferze i wzrasta powyżej poziomu 500 hPa. Jest to wyraźnie widoczne w Łebie, Legionowie i Lindenbergu. Nieco odmiennym profilem pionowym charakteryzuje się natomiast Poprad, nad którym omawiany błąd przyjmuje względnie wysokie wartości już od poziomu 850 hPa. RMSE również rośnie wraz z wysokością, osiągając najwyższe wartości na i powyżej poziomu 300 hPa. Podział na pory roku pozwala stwierdzić, że zgodność między rozpatrywanymi seriami danych charakteryzuje się bardzo małym zróżnicowaniem sezonowym. Jedynie w Łebie, w porze zimowej,

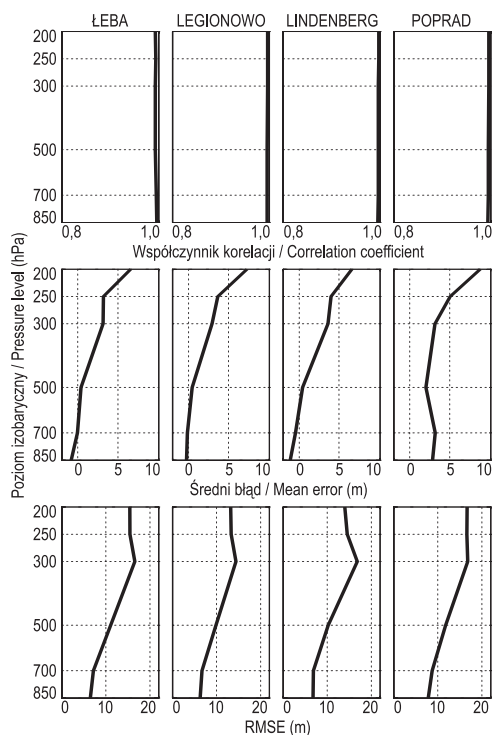


Ryc. 1. Położenie stacji aerologicznych oraz punktów gridowych reanalizy NCEP-NCAR. Model terenu wg USGS (2000). Wysokości stacji wyrażono w metrach n.p.m.

Objaśnienia: 1 – stacje aerologiczne, z których wykorzystano dane, 2 – punkty gridowe NCEP-NCAR wykorzystane do interpolacji, 3 – pozostałe punkty gridowe NCEP-NCAR.

Fig. 1. The location of the aerological stations and NCEP-NCAR grid points. Terrain elevations according to USGS (2000). Stations elevations are expressed in metres a.s.l.

Legend: 1 – aerological stations from which the data were taken, 2 – NCEP-NCAR grid points used for interpolation, 3 – other NCEP-NCAR grid points.

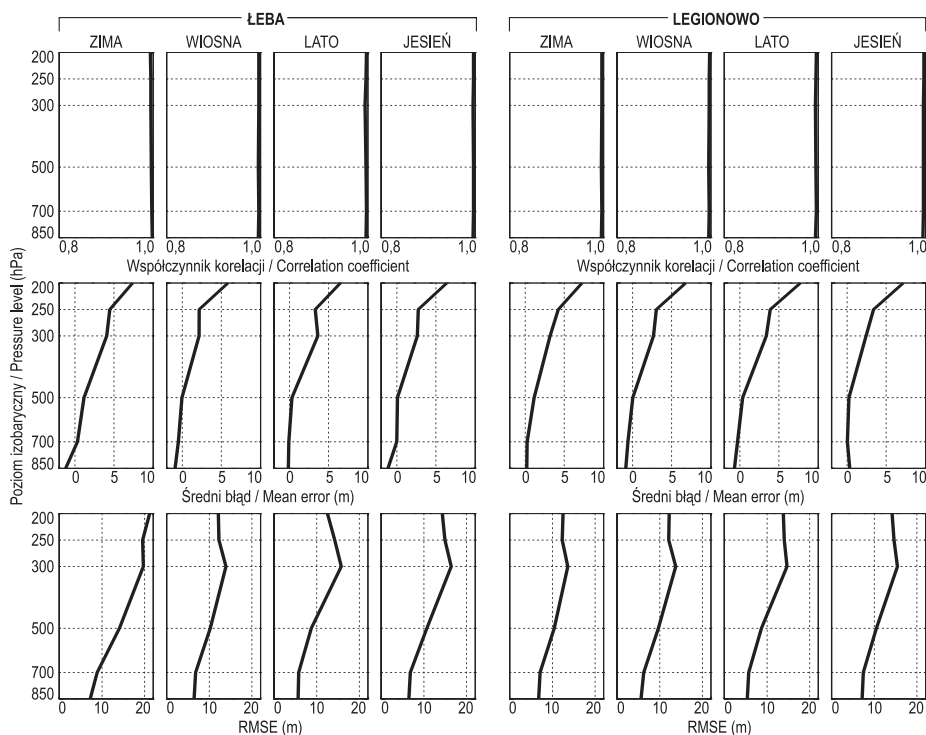


Ryc. 2. Profile pionowe współczynnika korelacji, błędu średniego oraz RMSE otrzymane w wyniku porównania danych radiosondażowych oraz danych NCEP-NCAR dotyczących wysokości geopotencjalnej powierzchni izobarycznych (2001–2010)

Fig. 2. Vertical profiles of the correlation coefficient, mean error and RMSE obtained by comparing the radiosonde and NCEP-NCAR data regarding the geopotential height of isobaric levels (2001–2010)

na wszystkich badanych poziomach ciśnienia widoczny jest wzrost wartości błędu średniego oraz RMSE (ryc. 3), co jest prawdopodobnie podyktowane nadmorskim położeniem tej stacji. Występujący zimą duży kontrast termiczny pomiędzy środowiskiem wodnym i lądowym może być niewłaściwie odtwarzany przez model reanalizy, skutkując wzrostem niezgodności. Pozostałe, śródlądowe, stacje charakteryzują się brakiem zróżnicowania sezonowego, czego przykładem jest Legionowo.

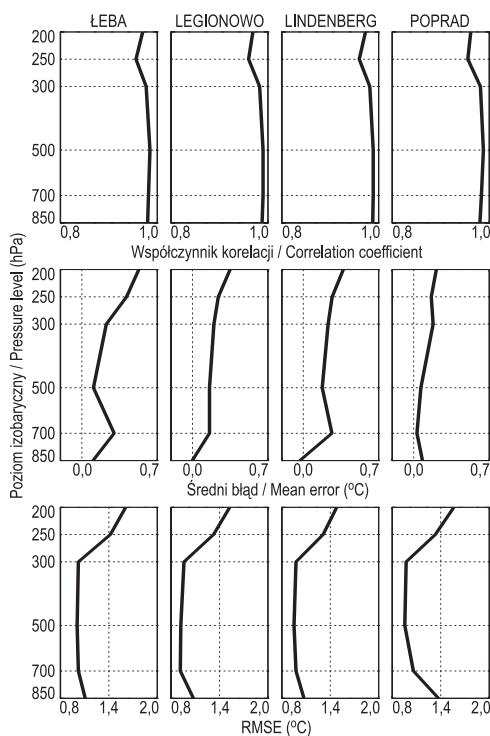
Analiza porównawcza temperatury powietrza wskazuje na dużą zgodność danych NCEP-NCAR z danymi pomiarowymi, zwłaszcza w warstwie troposfery do 300 hPa (ryc. 4). Zgodność tę potwierdzają wysokie wartości współczynnika korelacji, a także



Ryc. 3. Jak na ryc. 2, lecz z podziałem na pory roku (tylko Łeba i Legionowo)

Fig. 3. As in fig. 2, but divided into seasons (only Łeba and Legionowo)

stosunkowo niewielkie wartości średniego błędu oraz RMSE. Powyżej poziomu 300 hPa stwierdza się nieznaczny spadek korelacji, a także wzrost wartości błędów, co sugeruje mniejszą zgodność obu serii danych w tej warstwie atmosfery. Na mniejszą zgodność na górnych poziomach ciśnienia wskazywali wcześniej Woyciechowska i Bąkowski (2006), upatrując przyczyn w występujących tam prądach strumieniowych. Niewielki spadek współczynnika korelacji przy jednoczesnym wzroście RMSE jest zauważalny również w dolnej troposferze nad Popradem, co wynika z uwarunkowań lokalnych. Podobnie jak w przypadku wysokości geopotencjalnej powierzchni izobarycznych temperatura powietrza, pod względem omawianej zgodności, charakteryzuje się małym zróżnicowaniem sezonowym, czego przykładem są stacje w Łebie i Legionowie (ryc. 5). Wyraźne zróżnicowanie, widoczne na wszystkich badanych stacjach, występuje wyłącznie na poziomie 250 hPa, gdzie latem i jesienią następuje duży spadek korelacji oraz (tylko latem) wzrost RMSE. Jest to związane z występowaniem prądów strumieniowych, których osie sięgają



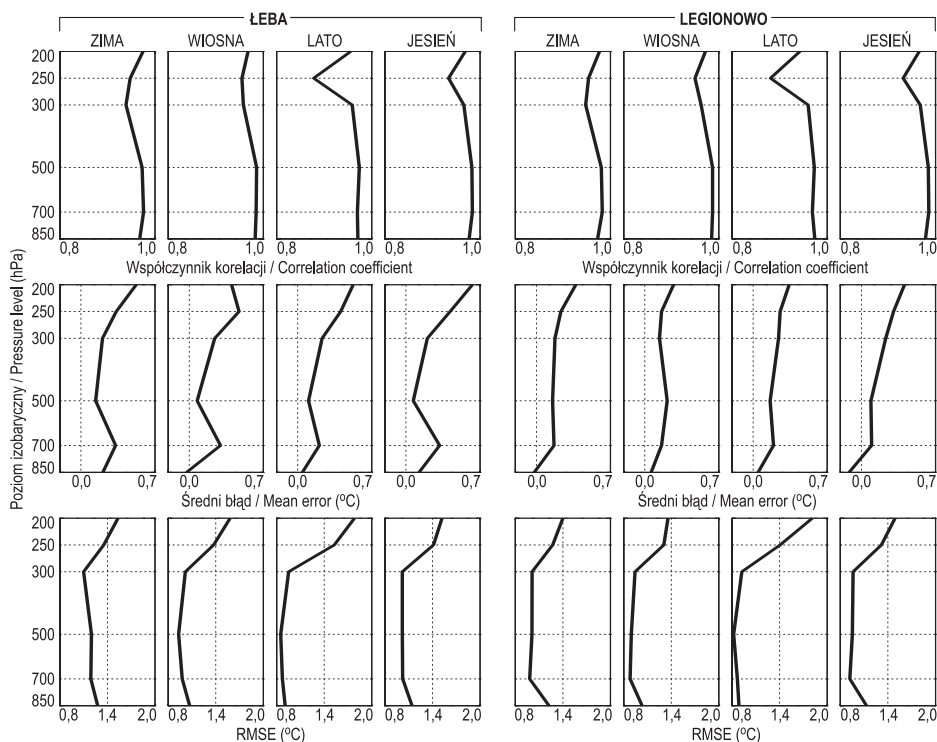
Ryc. 4. Jak na ryc. 2, lecz dla temperatury powietrza

Fig. 4. As in fig. 2, but for the air temperature

o tej porze roku poziomu 250 hPa (Bąkowski, Woyciechowska 2006). Warto podkreślić, że pomimo dużego spadku współczynniki korelacji są nadal bardzo wysokie i wynoszą powyżej 0,88.

Dotychczasowe rozważania dotyczące wysokości geopotencjalnej powierzchni izobarycznych oraz temperatury powietrza wskazują, że najmniejsza zgodność między danymi aerologicznymi oraz gridowymi występuje w górnej troposferze i dolnej stratosferze. Jest to tzw. warstwa UTLS (ang. *Upper Troposphere – Lower Stratosphere*), w której spadek korelacji oraz wzrost wartości błędów wynikać może z dużej dobowej i sezonowej zmienności wysokości tropopauzy. Innym powodem wzrostu niezgodności w tej warstwie atmosfery może być specyfika pomiaru radiosondażowego. Od momentu wypuszczenia do osiągnięcia wysokości poziomu 250 hPa (w umiarkowanych szerokościach geograficznych półkuli północnej) sonda przemieszcza się średnio o około 50 km (Seidel i in. 2011). Tymczasem wyniki jej pomiarów przypisywane są cały czas do miejsca startu, czyli do położenia stacji aerologicznej. Biorąc jednak pod uwagę małą rozdzielczość przestrzenną reanalizy



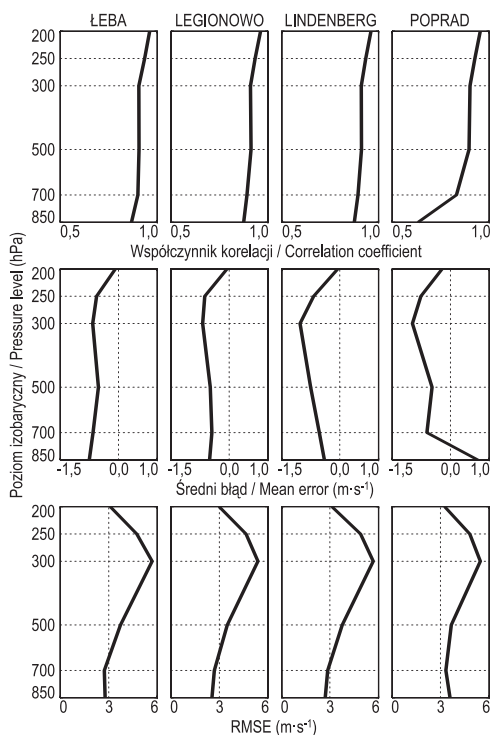


Ryc. 5. Jak na ryc. 2, lecz dla temperatury powietrza i z podziałem na pory roku (tylko Łeba i Legionowo)

Fig. 5. As in fig. 2, but for the air temperature and divided into seasons (only Łeba and Legionowo)

NCEP-NCAR ( $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ ) oraz fakt, że zmienność przestrzenna poszczególnych elementów meteorologicznych maleje wraz ze wzrostem wysokości, nie należy upatrywać w tym głównej przyczyny rozbieżności. Poza tym wędrówka sondy stanowi podstawę pomiaru prędkości i kierunku wiatru.

Badania porównawcze dotyczące prędkości wiatru wskazują, że współczynniki korelacji między rozpatrywanymi seriami danych osiągają największe wartości w górnych warstwach troposfery oraz w dolnej stratosferze i maleją wraz ze spadkiem wysokości (ryc. 6). Uwagę zwracają względnie duże wartości RMSE na poziomie 300 hPa, które są związane prawdopodobnie z występującymi na tej wysokości prądami strumieniowymi. Towarzyszące im bardzo duże prędkości wiatru są najwyraźniej niedoszacowane w modelu reanalizy, czego dowodem mogą być ujemne wartości błędu średniego. W Popradzie na uwagę zasługuje też poziom 850 hPa, gdzie jest widoczny duży spadek współczynnika korelacji (do 0,63) oraz jedno-

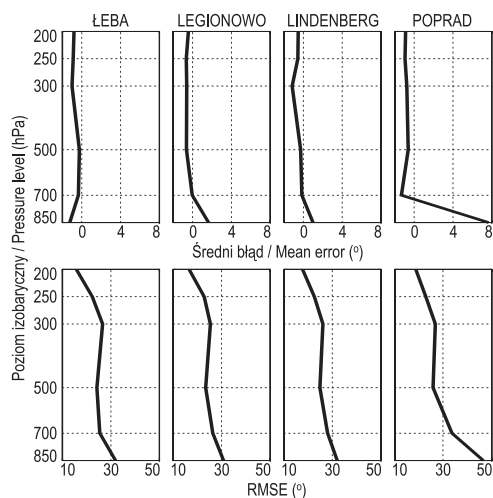


Ryc. 6. Jak na ryc. 2, lecz dla prędkości wiatru

Fig. 6. As in fig. 2, but for the wind speed

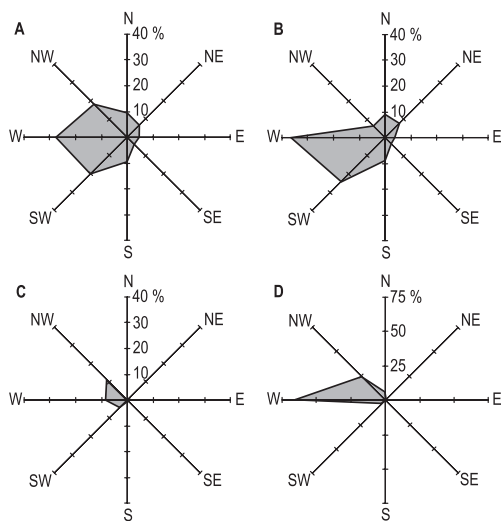
czesny wzrost wartości obu błędów. W przypadku kierunku wiatru wartości błędu średniego wynoszą około zera na wszystkich badanych poziomach ciśnienia, wzrastając jedynie na poziomie 850 hPa (ryc. 7). RMSE z kolei przyjmuje najmniejsze wartości na poziomie 200 hPa i wzrasta stopniowo w miarę obniżania wysokości. Wzrost obu błędów, następujący na poziomie 850 hPa, jest szczególnie wyraźny w Popradzie, co podobnie jak przy prędkości wiatru wynika z charakterystycznego ukształtowania terenu wokół tej stacji. Jak wspomniano na początku, zróżnicowanie sezonowe zgodności dotyczącej obydwu parametrów wiatru jest niewielkie. Uwagę zwraca jednak wspomniana rozbieżność, następująca w dolnej troposferze (850 hPa) nad Popradem. Rozbieżność ta jest najmniejsza zimą, a największa latem. Lepsza zgodność zimą wynika prawdopodobnie z większej średniej prędkości wiatru oraz z większej częstości wiatrów zachodnich o tej porze roku.

W celu ściślejszego określenia zgodności danych NCEP-NCAR i danych radiosondażowych porównano obliczone na ich podstawie częstości kierunków wiatru. Okazuje się, że przeciętna różnica częstości wynosi tylko 0,5%, a różnice największe



Ryc. 7. Jak na ryc. 2, lecz dla kierunku wiatru (pominięto wartości współczynnika korelacji)  
 Fig. 7. As in fig. 2, but for the wind direction (the values of the correlation coefficient were omitted)

sięgają jedynie 4%. Wyniki te nie uwzględniają jednak poziomu 850 hPa w Popradzie, któremu poświęcono szczególną uwagę. Na rycinie 8 przedstawiono częstość poszczególnych kierunków wiatru w Popradzie na poziomie 850 hPa, otrzymane na podstawie danych z reanalizy (A) i danych radiosondażowych (B). Różnice między tymi częstościami (C) są duże, w szczególności przy wietrze północno-zachodnim. Co ciekawe w przypadkach, gdy wartości z reanalizy wskazują na północno-zachodni kierunek wiatru, wiatr rzeczywisty z pomiaru radiosondażowego jest przeważnie (w 65% przypadków) zachodni (D). Przewaga wiatru zachodniego wynika z charakterystycznego usytuowania omawianej stacji. Poprad jest położony w równoleżnikowej kotlinie ograniczonej od dwóch stron pasmami górskimi (Tatrami i Niżnymi Tatrami). Dane NCEP-NCAR interpolowano natomiast do położenia tej stacji z punktów węzłowych położonych na obszarach o zupełnie innych uwarunkowaniach lokalnych (zob. ryc. 1). Jest zatem oczywiste, że dane otrzymane z reanalizy nie mogą wiernie odzwierciedlać lokalnych procesów atmosferycznych występujących w Popradzie. Skutkuje to tak dużymi niezgodnościami w przypadku obu parametrów wiatru.



Ryc. 8. Częstość [%] poszczególnych kierunków wiatru w Popradzie na poziomie 850 hPa (2001–2010)

Objaśnienia: A – na podstawie danych NCEP-NCAR, B – na podstawie danych radiosondażowych, C – różnice między A i B, D – na podstawie danych radiosondażowych w przypadkach, gdy reanaliza wskazywała kierunek NW.

Fig. 8. Frequency [%] of particular wind directions in Poprad at the 850 hPa pressure level (2001–2010)

Explanation: A – according to the NCEP-NCAR data, B – according to the radiosonde data, C – the differences between A and B, D – according to the radiosonde data in the cases where the reanalysis indicated NW.

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdza się, że dane z reanalizy NCEP-NCAR wykazują dużą zgodność z danymi pochodzącymi z bezpośrednich pomiarów aerologicznych. Zgodność ta jest szczególnie wyraźna w dolnej i środkowej troposferze, wzięwszy pod uwagę wysokość geopotencjalną powierzchni izobarycznych oraz temperaturę powietrza. Trochę mniejszą zgodność stwierdza się w górnej troposferze i dolnej stratosferze zwłaszcza latem i jesienią. W przypadku kierunku i prędkości wiatru zgodność ta jest duża na wszystkich rozpatrywanych poziomach ciśnienia. Wyjątek stanowi Poprad, gdzie istotne niezgodności stwierdza się w dolnej troposferze, szczególnie latem. Na podstawie wyników z Popradu można stwierdzić, że dane

z reanalizy NCEP-NCAR, m.in. ze względu na ich małą rozdzielczość przestrzenną, nie nadają się do badania lokalnych procesów atmosferycznych występujących w dolnej troposferze nad obszarami o urozmaiconej rzeźbie terenu.

Przeprowadzona analiza wskazuje również na niewielkie zróżnicowanie sezonowe badanych zgodności. Być może dokonanie takiego porównania w poszczególnych miesiącach pozwoliłoby uchwycić więcej różnic między porami roku. Jednakże, w celu uzyskania wiarygodnych wyników, wymagałoby to zastosowania dłuższej serii danych.

Podsumowując, reanaliza NCEP-NCAR stanowi cenny zbiór mogący służyć do uzupełniania albo wręcz zastępowania danych radiosondażowych. Dotyczy to całej troposfery z wyjątkiem dolnych jej warstw nad obszarami górskimi, w przypadku których dane z reanalizy powinny być każdorazowo weryfikowane.

## Literatura

- Bao X., Zhang F., 2013, *Evaluation of NCEP-CFSR, NCEP-NCAR, ERA-Interim, and ERA-40 Reanalysis datasets against independent sounding observations over the Tibetan Plateau*, Journal of Climate, 26, 206–214.
- Bąkowski R., Woyciechowska J., 2006, *Porównanie wyników pomiarów w swobodnej atmosferze i wartości wyznaczonych na podstawie baz danych NCEP/NCAR*, Annales UMCS, sec. B, LXI (5), 47–56.
- Gaffen D.J., Sargent M.A., Habermann R.E., Lanzante J.R., 2000, *Sensitivity of tropospheric and stratospheric temperature trends to radiosonde data quality*, Journal of Climate, 13, 1776–1796.
- Hodges K.I., Lee R.W., Bengtsson L., 2011, *A comparison of extratropical cyclones in recent reanalyses ERA-Interim, NASA MERRA, NCEP-CFSR, and JRA-25*, Journal of Climate, 24, 4888–4906.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds R., Jenne R., Joseph D., 1996, *The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis project*, Bulletin of the American Meteorological Society, 77, 437–471.
- Marshall G.J., 2002, *Trends in Antarctic geopotential height and temperature: A comparison between radiosonde and NCEP-NCAR Reanalysis data*, Journal of Climate, 15, 659–674.
- Schafer R., Avery S.K., Gage K.S., 2003, *A comparison of VHF wind profiler observations and the NCEP-NCAR Reanalysis over Tropical Pacific*, Journal of Applied Meteorology, 42, 873–889.
- Seidel D.J., Sun B., Pettey M., Reale A., 2011, *Global radiosonde balloon drift statistics*, Journal of Geophysical Research, 116, D07102, doi:10.1029/2010JD014891.
- Szot S., Kosowski M., 2013, *A comparison of the radiosonde and NCEP-NCAR Reanalysis data over Central Europe*, [w:] *Environmental changes and adaptation strategies*, International Scientific Conference, Skalica (Slovakia), 9–11 September 2013.

USGS, 2000, *Shuttle Radar Topography Mission, 30 Arc Sec. GTOPO30*, Global Land Cover Facility, University of Maryland, College Park, Maryland, February 2000.

Woyciechowska J., Bąkowski R., 2006, *Comparison of values of the chosen meteorological fields measured at the aerological stations and the values taken from NCEP/NCAR Reanalysis*, Időjárás, 110(2), 183–189.

*Sławomir Szot, Marek Kosowski*  
*Uniwersytet Jagielloński*  
*Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej*  
*Zakład Klimatologii*  
*ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków*  
*e-mail: slawomir.szot@uj.edu.pl*  
*e-mail: marek.kosowski@uj.edu.pl*